Aus der Abteilung für Kiefer- und Gesichtschirurgie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. N. Schwenzer
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE BEFUNDE ZUR ENDOTHELREGENERATION NACH MIKROCHIRURGISCHER GEFÄSSNAHT MIT UNTERSCHIEDLICHEN NAHTMATERIALIEN AN DER RATTENAORTA

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von

MICHAEL HAUFLER
aus Stuttgart

1981

Aus der Abteilung für Kiefer- und Gesichtschirurgie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. Dr. N. Schwenzer
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE BEFUNDE ZUR ENDOTHELREGENERATION NACH MIKROCHIRURGISCHER GEFÄSSNAHT MIT UNTERSCHIEDLICHEN NAHTMATERIALIEN AN DER RATTENAORTA

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
MICHAEL HAUFLER
aus Stuttgart

1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan	:	Prof. Dr. G. Rassner
1. Berichterstatter:		Priv. Doz. Dr. Dr. D. Riediger (Prof. Dr. Dr. N. Schwenzer)
2. Berichterstatter:		Prof. Dr. W. Schlote

Gesamtherstellung: **aku** - Fotodruck GmbH, 8600 Bamberg

Für meine Eltern

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548922_0017

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
III.	MATERIAL UND METHODE	10
	1. Versuchstiere	10
	2. Voruntersuchungen	10
	3. Hauptversuch	11
	a) Operatives Vorgehen	11
	b) Entnahme und Präparation	14
IV.	ERGEBNISSE	15
	1. Allgemeine Befunde während der Operation	15
	2. Makroskopische Befunde bei der Präparatentnahme	16
	3. Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen	17
V.	DISKUSSION	50
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	53
VII.	LITERATURVERZEICHNIS	54

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Einführung des Operationsmikroskops in die Mikrovaskularchirurgie durch JACOBSON und SUAREZ (1960) ermöglichte, auch kleinste Gefäße mit einem Außendurchmesser von 1 mm durch Mikrogefäßnaht funktionstüchtig zu vereinigen.

Daneben war die Miniaturisierung des Nahtmaterials und des Instrumentariums sowie die ständige Weiterentwicklung und Verfeinerung der Operationstechnik für das Gelingen der Mikrogefäßanastomosen von entscheidender Bedeutung. Erst dadurch waren die sensationellen klinischen Erfolge Mitte der siebziger Jahre in der Replantations- sowie der plastisch rekonstruktiven Chirurgie möglich. Erwähnt sei vor allem die freie Transplantation autologer dicker Fett-Muskel oder Fett-Muskel-Hautlappen zur Defektdeckung mit mikrochirurgischem Gefäßanschluß des Transplantates im Empfängergebiet.

Entscheidend für die Funktionstüchtigkeit der Anastomose ist neben der Operationstechnik ein sich neutral verhaltendes, den Operationsdimensionen angepaßtes Nahtmaterial. Es muß höchsten Anforderungen hinsichtlich der technischen Handhabung sowie der Gewebeverträglichkeit genügen. Das Nahtmaterial darf weder Anlaß zur Thrombosierung sein, noch die Regeneration des Endothels stören. Diesen Forderungen wurde die Nahtmittelindustrie durch Herstellung feinster Nadel-Fadenkombinationen gerecht. Dabei sind atraumatische nichtresorbierbare Nylonfäden der Stärken 10-0 bis 12-0 (20-10 Mikron) zum Standardnahtmittel in der Mikrovaskularchirurgie geworden.

Neben dem traditionellen Material konnten in jüngster Zeit auch andere in der Chirurgie bewährte Nahtmittel dieser Stärke hergestellt werden. Unter anderem das vollsynthetische, resorbierbare Vicryl^{R}, das in den letzten Jahren in alle operativen Disziplinen Eingang gefunden hat, sowie monofile Stahldrähte, deren hohe Reißkraft und Gewebefreundlichkeit aus anderen Anwendungen bekannt ist.

Die Wahl des Nahtmittels ist von großer Bedeutung für das Gelingen einer Gefäßanastomose, da es die reparativen Vorgänge insbesondere im Bereich der Gefäßintima aufs stärkste beeinflußt. In diesem Tierexperiment sollte daher die Regeneration des Endothels nach mikrochirurgischer Vereinigung zweier Gefäßstümpfe im allgemeinen sowie bei Verwendung dieser drei vollkommen unterschiedlich aufgebauten Fadenmaterialien untersucht werden. Es sollten speziell die Reaktionen der Gefäßintima durch Anwendung der Rasterelektronenmikroskopie dargestellt und geprüft werden, ob durch die Materialien selbst und deren unterschiedliche Verarbeitbarkeit Differenzen im Heilungsprozeß auftreten.

II. LITERATURÜBERSICHT

Obwohl schon 1889 Methoden für Gefäßnähte von JASSINOWSKY angegeben wurden, war es bis zum Beginn der sechziger Jahre nicht möglich, Gefäße unter 2,5 mm Ø funktionstüchtig zu anastomosieren. Die dann beginnende Aera der Mikrovaskularchirurgie eröffnete vollkommen neue Möglichkeiten in der Replantations- und der plastisch rekonstruktiven Chirurgie. Durch das Gelingen von Anastomosen an kleinsten Gefäßen waren klinische Erfolge möglich, die bis dahin nicht vorstellbar waren. Nachdem BUNKE und SCHULZ (1965) die tierexperimentellen Grundlagen an Rhesusaffen geschaffen hatten, gelang KOMATSU und TAMAI (1968) die erste erfolgreiche Replantation eines vollkommen abgetrennten Daumens am Menschen.

Daneben berichteten KRIZEK et al. (1965) in tierexperimentellen Arbeiten am Hund und STRAUCH und MURRAY (1967) an der Ratte über die Möglichkeit der freien Lappentransplantation durch mikrochirurgische Technik, die DANIEL und TAYLOR (1972) mit der Transplantation eines Leistenlappens (groin flap) am Menschen erstmals gelang.

Dies war erst durch intensive Forschungsbemühungen zur Verbesserung der optischen Voraussetzungen, des Instrumentariums, der Nahttechnik und der Nahtmaterialien für die Mikrogefäßnaht möglich.

Den Grundstein für die moderne mikrovaskuläre Chirurgie legten JACOBSON und SUAREZ (1960) durch Anwendung des Operationsmikroskopes für die Gefäßnaht und die Entwicklung von miniaturisierten Instrumenten. Bei einer 10 - 40-fachen Vergrößerung konnten die operativen Maßnahmen für die Gefäßanastomose genau kontrolliert werden. Es gelang erstmals, eine 100 %ige Durchgängigkeit von End-zu-End-Anastomosen an Gefäßen mit Durchmessern zwischen 1,4 und 3 mm.

Obwohl wenig später CHASE und SCHWARTZ (1963) über eine hohe Erfolgsquote bei Anastomosen am Hund unter Verwendung lediglich einer Lupenbrille berichteten, hat sich das Opera-

tionsmikroskop als unerläßliche Hilfe in der Mikrochirurgie durchgesetzt und wurde bis zum sogenannten Triploskop für drei Operateure weiterentwickelt (O'BRIEN, 1970).

Die notwendigen miniaturisierten Instrumente wurden z.T. von der Ophthalmologie (Scherchen, Nadelhalter) sowie vom Uhrmacherhandwerk (Pinzetten) übernommen und verbessert.

Zur Unterbrechung des Blutstromes wurden neue Doppelklemmen entwickelt, die auch die Annäherung der beiden Gefäßstümpfe zur Naht ermöglichen (HENDERSON, O'BRIEN und PAREL, 1970). Als besonders günstige Form erwies sich die Klemme von ACLAND (1974). Sie besteht aus zwei auf einer kleinen Metallschiene verschiebbaren Mikroklemmen zur Fixierung und Appoximierung der Gefäßstümpfe, sowie einem die Doppelklemme umgebenden feinsten Fadenhalterahmen, an dem die für die Naht wichtigen Halte- oder Zügelnähte fixiert werden.

Neben den instrumentellen Voraussetzungen ist für das Gelingen einer Gefäßanastomose die richtige Nahttechnik mit entscheidend. SEIDENBERG et al. (1958) empfahl für Anastomosen kleiner Gefäße noch die in der Gefäßchirurgie gebräuchliche fortlaufende Naht. Für die mikrovaskuläre Anastomose kleinster Gefäße (unter 2,5 mm) sind Einzelknopfnähte besser geeignet, da die Stenosierungsgefahr dabei geringer ist.

Über die mikrovaskuläre Nahttechnik findet man in der Literatur zahlreiche Veröffentlichungen, unter anderem von CHASE, SCHWARTZ und ROB (1963); BUNKE und SCHULZ (1965); SMITH (1966), STRAUCH und MURRAY (1967), COBBETT (1967a, 1967b), O'BRIEN, HENDERSON, BENNET und CROCK (1970), TAMAI et al. (1972), ACLAND (1975), ÖSTRUP et al. (1976), FUJIMAKI et al. (1977), DANIEL und SWARTZ (1977), ROBERTSON und ROBERTSON (1978).

Die heute vielfach angewandte Nahttechnik ist die von COBBETT (1967b) beschriebene Methode der "eccentric biangulation". Dabei werden die beiden Zügelnähte im Abstand von 120° angelegt, wodurch ein Durchhängen der Gefäßhinterwand gewährleistet und die Nahttechnik damit erleichtert wird.

Die meisten Autoren empfehlen, vor der Naht die Gefäßadventitia im Anastomosenbereich 2-3 mm zurückzuschieben, um ein Einklemmen von Adventitia zwischen den Stümpfen zu vermeiden, was zu einer starken Thrombenbildung führen kann (SEIDENBERG et al., 1958; CHASE und SCHWARTZ, 1963; SMITH, 1966; COBBETT, 1967a). O'BRIEN, HENDERSON, BENNET und CROCK (1970) sehen darin keinen Vorteil.

Einigkeit besteht über die weitestgehende Schonung der empfindlichen Gefäßintima, da jeder Endothelschaden die Thrombosegefahr erhöht und die Regeneration verlangsamt. Große Bedeutung hat auch die exakte Adaptation kongruenter Gefäßwandschichten bei der Naht (BAXTER et al., 1972), d.h. es muß auf eine äußerst feine atraumatische Operationsweise geachtet werden.

Von der allgemein üblichen Nahttechnik abweichende Nahtmethoden wurden von FUJINO und AOYAGI (1975), NATHAN und ROSE (1976) sowie HARASHINA (1977) angegeben. Anastomosen unter Verwendung von Naht und Fibrinkleber wurden von MATRAS et al. (1977) beschrieben.

Parallel zur Weiterentwicklung des Instrumentariums und der Nahttechnik wurde auch das Nahtmaterial ständig verbessert. Zu Beginn wurden Seidenfäden der Stärke 7-0 (50 Micron Ø) als atraumatische Naht verwandt (SEIDENBERG et al., 1958; CHASE und SCHWARTZ, 1963). Die Seidenfäden erwiesen sich jedoch als ungünstig für die Mikrogefäßanastomose, da sie leicht ausfasern und nur zerrend durch das feine Gewebe gezogen werden konnten. Um immer kleinere Gefäße anastomosieren zu können, mußten feinere Nadel-Fadenkombinationen entwickelt werden. Der Polymer-Chemie gelang es, sehr dünne monofile Nylonfäden zu ziehen, die eine glatte Oberfläche aufwiesen. Diese ca. 20 Micron starken Nylonfäden wurden armiert mit über 100 Micron starken Stahlnadeln (z.B. der Ethicon BV-2 Nadel mit 125 µ Durchmesser). Um diese Diskrepanz zwischen Faden- und Nadeldurchmesser zu verringern, entwickelten BUNKE und SCHULZ (1966) eine Methode, um Metall direkt auf das Ende eines 12 µ starken Nylonfadens aufzubringen. Diese erste sogenannte "metallized suture needle"

erwies sich jedoch als zu brüchig für den praktischen Gebrauch. Eine verbesserte Weiterentwicklung wurde von O'BRIEN, HENDERSON und CROCK (1970) vorgestellt, ein 19 Micron starker Faden mit einer 70 Micron starken 4 mm langen Nadel. Eine noch grazilere Form gelang O'BRIEN und HAYHURST (1973).

Der Nachteil dieser metallbeschichteten Fadennadeln war ihre geringe Stabilität sowie ihre rauhe Oberfläche im Vergleich zu einer polierten Stahlnadel. ACLAND (1972) stellte daraufhin eine stabile Stahlnadel mit nur 75 Micron Durchmesser an einem 18 Micron starken Nylonfaden vor, die leicht durch das Gewebe glitt. Die von BUNKE und McLEAN (1971) beschriebene gerade Micronadel hat sich gegenüber den gebräuchlichen leicht gebogenen Nadeln nicht durchgesetzt.

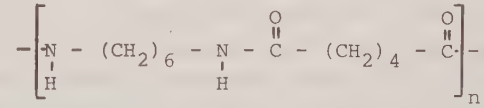
Ziel der Entwicklungen waren Nadel-Fadenkombinationen, die eine exakte Nahttechnik ermöglichen und das Gewebe so wenig als möglich traumatisieren.

Heute werden von der Nahtmittelindustrie neben dem bewährten Nylon auch andere Fadenmaterialien für die Mikrochirurgie angeboten, so unter anderem das resorbierbare Polyglactin 910 (Vicryl^{R}) von der Firma Ethicon und chirurgischer Stahldraht der Firma Medipoint.

Der Aufbau dieser Nahtmittel soll nachfolgend kurz aufgezeigt werden:

Ethilon^{R} (Fa. Ethicon)

Ethilon ist ein vollsynthetisches, nicht resorbierbares Nahtmaterial. Es handelt sich um ein Poliamid-Homopolymer, das gebräuchlich als Nylon bezeichnet wird. Für die Fäden der Stärken 7-0 bis 12-0 wird das sogenannte Polyamid-66 (Nylon-66) verwand, ein Polymerisationsprodukt des Hexamethylenadiapats.

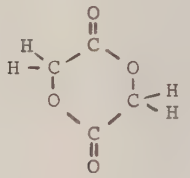


Polihexamethylenadiapat

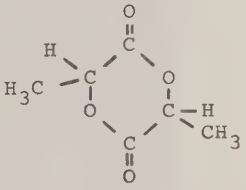
Ethilon liegt als monofiler schwarzer Faden vor.

Vicryl^{R} (Fa. Ethicon)

Vicryl^{R} ist ein vollsynthetisches resorbierbares Nahtmaterial. Es entsteht als Copolymerisationsprodukt von 9 Anteilen Glycolid und einem Teil L(-)Lactid (bei Hitze und Druck mit Katalysatoren):



Glycolid

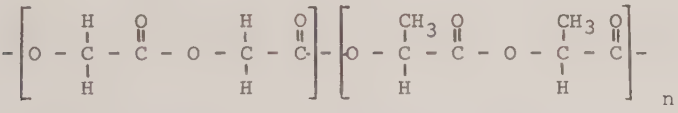


L(-)Lactid

Glycolid wird aus 2 Molekülen Glycolsäure (Hydroxyessigsäure) unter Abgabe von 2 Molekülen Wasser, Lactid aus 2 Molekülen Milchsäure (Hydroxypropionsäure) unter Abgabe von 2 Molekülen Wasser gebildet. Letzteres ist optisch aktiv.

Bei der Polymerisation öffnen sich die ringförmigen Glycolid- und Lactid-Moleküle und bilden, durch Esterbindungen miteinander verknüpft, lange Ketten aus Diglycolyl- und Dilactyl-Einheiten. Es entsteht so das Co-Polymer Polyglactin 910 (Poly-(lactid-co-glycolid)) (Vicryl^{R}):

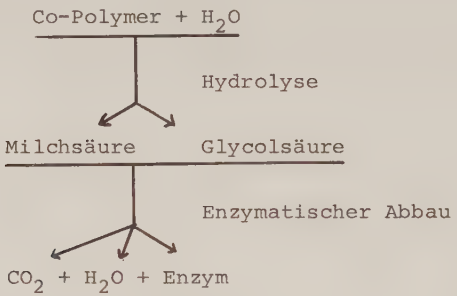
Poly-(lactid-co-glycolid):



Diglycolyl-Gruppe Dilactyl-Gruppe

Im Gegensatz zur Synthese, die unter Wasserabspaltung verläuft, erfolgt der Abbau des Co-Polymers bei Anwesenheit von Wasser durch Wasseraufnahme (Hydrolyse), wobei die Esterbindungen aufgelöst und schließlich die Ausgangskomponenten -

Glycolsäure und Milchsäure - wieder freigesetzt werden.



(nach MUXFELDT, 1976 und DOCIU, 1978).

Vicryl^R wird mit einem Farbstoff violett eingefärbt. Es liegt in den Stärken 9-0, 10-0 und 11-0 als monofiler Faden vor.

Chirurgischer Stahldraht (Fa. Medipoint):

Dieses Nahtmaterial besteht aus nichtrostendem Stahl, der auf eine Stärke von 20 Micron gezogen wird und damit als homogener monofiler Draht vorliegt.

Alle drei beschriebenen Materialien liegen als atraumatische Nadel-Faden-Kombinationen vor. Für die Anastomosierung von Gefäßen mit einem Außendurchmesser von ca. 1,0 mm werden vorwiegend Fäden der Stärke 10-0, armiert mit der BV-6 Nadel von Ethicon bzw. der DR-4 Nadel von Medipoint, verwand (Abb. 1).

Die beiden Nadeltypen unterscheiden sich in ihren Abmessungen nicht. Es handelt sich um 3/8kreis Rundkörperstahlnadeln mit einem Kreisausschnitt von 138^o. Die gestreckte Bogenlänge beträgt 4,0 mm, der Nadeldurchmesser 70 Micron.

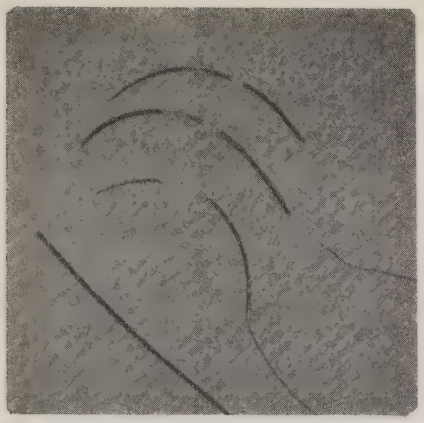


Abb. 1: Nahtmaterialien:
(von oben nach unten) Vicryl^{R}, chirurgischer Stahldraht, Ethilon^{R}
zum Größenvergleich: menschliches Haar.

In der Literatur findet man zahlreiche ultrastrukturelle Untersuchungen zum Heilungsverlauf nach Mikrogefäßanastomose, die deutlich die starke Traumatisierung der Gefäßwandschichten und insbesondere der Gefäßintima durch die Gefäßnaht demonstrieren (GREGORIUS und RAND, 1976; HARASHINA et al., 1976; SERVANT et al., 1976). Dabei und auch in anderen experimentellen und klinischen Arbeiten wurde ausschließlich Nylon als Nahtmaterial verwand.

Bei dem heutigen größeren Angebot an Fadenmaterialien ist die Kenntnis der pathomorphologischen Vorgänge nach einer Mikrogefäßnaht besonders im Bereich der Gefäßintima für die Wahl des Nahtmittels von großer Bedeutung, da die Reaktionen des Gefäßendothels auf das verwandte Material mit entscheidend für die Funktionstüchtigkeit der Anastomose sein können. Deshalb wurde im Tierexperiment die Endothelregeneration nach Gefäßanastomose mit den drei angesprochenen Nahtmaterialien beobachtet. Über die Ergebnisse soll nachfolgend berichtet werden.

III. MATERIAL UND METHODE

III.1. Versuchstiere

Als Versuchstiere wurden 80 weilbiche ca. 250 g schwere Spraque-Dawley-Ratten[1] verwendet. Die Haltung erfolgte in Einzelkäfigen aus Kunststoff bei konstanter Temperatur von 22°C. Die Käfige wurden zweimal pro Woche gereinigt und mit frischen Holzspänen beschickt. Es wurde Altromin[2] Haltungsfutter (Nr. 1324) und frisches Leitungswasser aus Trinkflaschen gegeben.

Eine Seuche oder Infektion trat während der gesamten Untersuchung nicht auf.

III.2. Voruntersuchungen

In einem Vorversuch an 50 Spraque Dawley Ratten wurden zahlreiche Erkenntnisse über die anatomischen Verhältnisse, die Naht- und Operationstechnik, die Entnahme der Präparate sowie deren Fixierung und Aufbereitung für das Rasterelektronenmikroskop gesammelt.

Dabei zeigte sich, daß die durchgeführte Gefriertrocknung der Präparate zu einer starken Zerstörung der Endothelzellstrukturen führte. Daher wurde für den Hauptversuch die Trocknung nach der Critical-Point-Methode gewählt.

---

[1] Süddt. Versuchstierfarm Tuttlingen

[2] Altromin GmbH, 4937 Lage/Lippe

III.3. Hauptversuch

An der Aorta abdominalis von 30 Sprague Dawley Ratten wurden Gefäßanastomosen angelegt. Zur Naht wurde benutzt:

1. monofiler Nylonfaden "Ethilon^{R}" der Stärke 10-0 (Ethicon) mit BV 6 Nadel;
2. resorbierbarer monofiler Polyglactinfaden "Vicryl^{R}" der Stärke 10-0 (Ethicon) mit BV 6 Nadel sowie
3. monofiler chirurgischer Stahldraht der Stärke 10-0 (Medipoint) mit DR 4 Nadel.

Die Anastomosenstellen wurden zwischen 4 und 30 Tage post operativ entnommen und für das Rasterelektronenmikroskop aufbereitet und untersucht.

a) Operatives Vorgehen

Eine ausreichend tiefe und lange Narkose wurde durch intraperitoneale Gabe von 0,4 - 0,5 ml Anästhesielösung (Nembutal^{R}, verdünnt mit H_2O im Verhältnis 1:1) mit Hilfe einer Insulin-Spritze erreicht. Auf eine Vornarkotisierung mit Äther wurde verzichtet, was einen unproblematischen Narkoseverlauf zur Folge hatte.

Nach Rasur und Desinfektion mit Kodan Spray^{R} wurde das Versuchstier auf einem sterilen Op-Tischchen in Rückenlage fixiert und mit sterilen Lagen abgedeckt. Die Bauchhöhle wurde durch einen medianen Längsschnitt vom Xyphoid 5 cm nach caudal eröffnet und die Eingeweide, die ständig feucht gehalten wurden, auf der rechten Seite des Tiers gelagert. Das Peritoneum wurde distal vom Abgang der Arteria renalis über der Aorta abdominalis durchtrennt und diese unter dem Operationsmikroskop (ZEISS Op-Mi 1) bei 10-facher Vergrößerung stumpf mit zwei Mikropinzetten auf einer Länge von ca. 1 cm freipräpariert. Der Außendurchmesser des Gefäßes betrug zwischen 1,2 und 1,4 mm. Durch eine unter dem freien Aortenstück hindurchgezogene Gummilasche wurde das Operationsgebiet vom übrigen Gewebe isoliert und an der geplanten Anasto-

mosenstelle die Gefäßadventitia auf 3 mm Länge freipräpariert und zurückgeschoben. Dann wurde der Doppelklemmenapproximator nach ACLAND (1974) angelegt, die Aorta zwischen den beiden Approximatorklemmen quer scharf durchtrennt und die Gefäßstümpfe mit verdünnter Heparinlösung (Liquemin^{R}, Konz. 5 I.E./ml) gespült. Durch das Verschieben der Mikroklemmen wurden die sich retrahierenden Gefäßstümpfe approximiert.

Die Naht erfolgte bei 16facher Vergrößerung nach der Technik der "eccentric biangulation" von COBBETT (1967b), wobei zwei Zügelnähte im Abstand von 120^{o} an den Gefäßstümpfen angelegt und am Fadenhalterahmen fixiert wurden (Abb. 2). Dadurch kam es zum halbmondförmigen Durchhängen der Gefäßhinterwand und die Vorderwandnaht konnte mit 4 bis 5 Einzelknopfnähten leicht ohne Erfassen der Rückwand durchgeführt werden. Dann wurde die Gefäßklemme um 180^{o} geschwenkt und die lumenwärtige Seite der Vorderwandnaht kontrolliert (Abb. 3). Für die Naht der Hinterwand waren 5 bis 7 Einzelknopfnähte erforderlich (Abb. 4). Es wurden alle Gefäßwandschichten durch die Naht erfaßt und eine Verletzung der Intima so weit als möglich vermieden.

Nach Zurückschwenken des Approximators wurde zunächst die distale, dann die proximale Klemme geöffnet. Blutungen im Bereich der Naht kamen nach sanfter Kompression mit einem feuchten Tupfer zum Stehen.

Damit war die Gefäßanastomose fertiggestellt (Abb. 5). Nach der Reposition der Eingeweide in die Bauchhöhle und der Einlage eines Nebacetin Stylus^{R} zur Verhütung einer möglichen Infektion erfolgte die Bauchdecken-Haut-Naht zweischichtig mit Catgut 4-0 und Nylon 4-0 (beides Fa. Dr. Hammer) durch Einzelknopfnähte. Eine allgemeine Gabe von gerinnungshemmenden Stoffen wurde nicht durchgeführt.

Abb. 2
Naht der Gefäßvorderwand.
Die Zügelnähte sind angelegt und an der Klemme fixiert

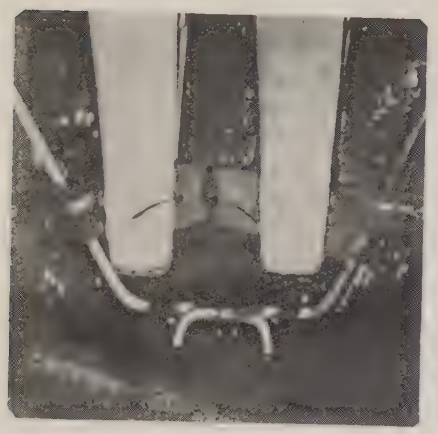


Abb. 3
Approximatorklemme um 180° geschwenkt.
Blick auf die lumenwärtige Seite der Vorderwandnaht

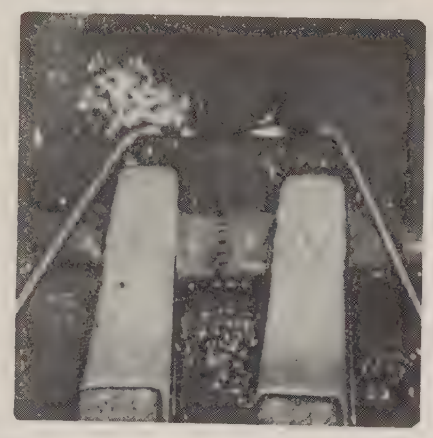


Abb. 4
Naht der Gefäßhinterwand

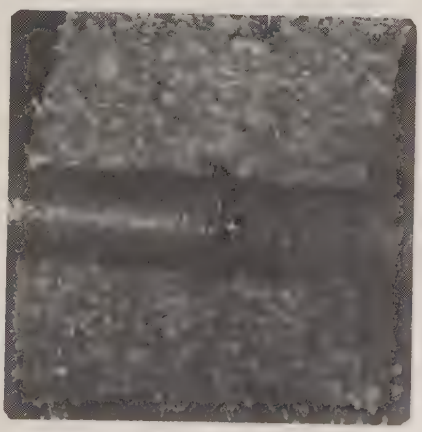


Abb. 5
Vollständige Gefäßanastomose

b) Entnahme und Präparation

Die Entnahme der anastomosierten Gefäßstücke erfolgte 4, 7-8, 10-11, 14-16, 21-22 und ca. 30 Tage postoperativ in Nembutal-Narkose.

Die Bauchhöhle wurde eröffnet und die Anastomosenstelle dargestellt. Die Entnahme erfolgte bei noch intaktem Kreislauf. Nach Abklemmen der Aorta wurde das Gefäßstück jeweils ca. 3 mm über die Anastomosenstelle hinaus herausgeschnitten und sofort mit 1 %igem Glutaraldehyd in Na-Cacodylatpuffer (0,1 molar, pH 7,4) gespült und in dieser Lösung unter dem Mikroskop längs aufgeschnitten, ausgerollt und mit den Spitzen von Insektennadeln auf kleinen Silikonblöckchen fixiert.

Die Präparate verblieben 24 Std. in dieser Fixierlösung bei $4^{o}C$ und wurden dann bis zur Weiterbehandlung in 0,1 M Na-Cacodylatpuffer mit 0,2 M Saccharose bei $4^{o}C$ aufbewahrt.

Vor der Trocknung der Präparate erfolgte eine einstündige Nachfixierung mit 1 %igem Osmiumtetroxyd (OsO_4) in Na-Cacodylatpuffer.

Anschließend wurden die Präparate zweimal 30 min in Na-Cacodylatpuffer mit Saccharose gespült. Dann erfolgte die Entwässerung während 4 Std. in aufsteigender Acetonreihe (15 %ig bis Aceton absolutus). Die Trocknung wurde nach der Critical-Point-Methode mit CO_2 durchgeführt, die Präparate dann auf Objektträger aufgebracht und bis an das Gewebsstück Leitsilber aufgetragen, mit Gold besputtert und im Rasterelektronenmikroskop (Cambridge Stereoscan) untersucht. Die Beschleunigungsspannung betrug 10 KV.

Nach OHNSORGE und HOHN (1978), ROSENBAUER und KEGEL (1978) und SCHLOTE (1979).

IV. ERGEBNISSE

IV.1. Allgemeine Befunde während der Operation

Bezüglich der intraoperativen Handhabung erwiesen sich sowohl Ethilon^{R} als auch Vicryl^{R} als sehr geschmeidige Nahtmaterialien, die mit ihrer glatten Oberfläche leicht durch die Gefäßwand glitten.

Der Vicryl^{R}-Faden war etwas weicher, was sich besonders beim Knüpfen im feuchten Operationsgebiet bemerkbar machte. Dort blieb das kurze Fadenende oft auf dem Gewebe "kleben" und konnte weniger gut erfaßt werden, während sich das Ende des Ethilon^{R}-Fadens meist von der Unterlage abhob. Der optische Kontrast zwischen Faden und Gewebe war bei Vicryl^{R} geringer als bei Ethilon^{R}, wogegen die Knotensicherheit bei beiden Materialien gleichwertig gut war.

Der chirurgische Stahldraht erwies sich im Gegensatz dazu als sehr starr, unelastisch und wenig geschmeidig. Dadurch kam es beim Durchführen des Fadens durch die Gefäßwand und beim Knüpfen häufig zu leichten Einrissen an den Stichkanälen. Die Folge war, im Vergleich zu den beiden oben genannten Materialien, neben stärkerer Traumatisierung der Wandschichten auch eine längere Blutungszeit nach Öffnen der Klemme. Mit dem Stahldraht konnte dagegen eine sehr hohe Knotensicherheit erreicht werden, da sich selbst ein einfach umschlungener Knoten nicht wieder öffnete.

Insgesamt waren die Anastomosen bei der Naht mit Ethilon^{R} oder Vicryl^{R} schneller vollendet und früher funktionstüchtig als bei der Anwendung des chirurgischen Stahldrahtes.

IV.2. Makroskopische Befunde bei der Präparatentnahme

Bei der Entnahme der Präparate waren alle Anastomosen durchgängig. Nur bei einem Präparat konnte ein der Gefäßwand anhaftender kleiner Thrombus makroskopisch festgestellt werden, der aber nicht zum Verschluß des Gefäßes geführt hat. Bei keinem Präparat lag eine Einengung an der Anastomosenstelle vor.

Bei allen Materialien war die Nahtstelle von 7 Tagen postoperativ an von einem feingesponnenen Kapillarnetz umgeben. Dieses Bild änderte sich anschließend nur bei Vicryl. Nach 21 Tagen war das violette Nahtmaterial noch gut sichtbar, die einzelnen Knoten noch zu erkennen. 7 Tage später waren die Fäden nicht mehr auszumachen. Die ursprüngliche Anastomosenstelle war nur noch durch das verstärkte Kapillarnetz aufzufinden, bei stärkerer Vergrößerung erkannte man in der Wand noch eine hyaline Narbe, die auf die Lage der Knoten schließen ließ.

IV.3. Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen

Ethilon^{R} (Nylon) 4 Tage post op.

Abb. 6a: Die Schnittlinie der Anastomose verläuft schräg von rechts oben nach links unten. Die Wundränder sind gut adaptiert, aber noch nicht geschlossen. Ein Nahtbogen reicht frei ins Lumen des Gefäßes. Durch die Trocknung hebt er sich artefiziell vom Endothel etwas ab.
An der rechten Austrittsstelle des Fadens ist ein kraterförmiger Defekt zu sehen. Der Faden ist auf dieser Seite von einem dünnen Blutgerinsel bedeckt. Im Mittelteil sitzen dem Faden runde Zellen der weißen Blutbildreihe auf.
(Neg. Nr. 77089/Vergr. 300)

Abb. 6b: Detail der rechten Einstichstelle aus Abb. 6a. In dem kraterförmigen Stichkanal finden sich kugelige Zellen mit stippeliger Oberfläche (Leukozyten). Man erkennt das Fibringerüst des Thrombus mit eingelagerten Thrombozyten, Erythrozyten und weißen Blutzellen. Am Rand des Defektes sieht man die sich buckelig vorwölbenden Zellkörper der Endothelzellen.
(Neg. Nr. 77090/Vergr. 750)

Abb. 6c: Detail der linken Einstichstelle von Abb. 6a. Der Faden ist von einem dünnen Fibrinnetz überzogen. Aufgelagert sind Thrombozyten, Erythrozyten und Leukozyten mit stippeliger Oberfläche. Darüber sprossen vom Endothel her ungeordnet spindelförmige Zellen (wahrscheinlich Endothelzellen) auf den Faden zu. Sie sind durch eine bauchige Zellmitte mit zwei langen Zellfortsätzen charakterisiert.
(Neg. Nr. 77092/Vergr. 1500)

Abb. 6d: Freie Fadenoberflächen mit feinem Fibrinnetz und anhaftenden Thrombozyten.
(Neg. Nr. 77096/Vergr. 5000)

Abb. 6a

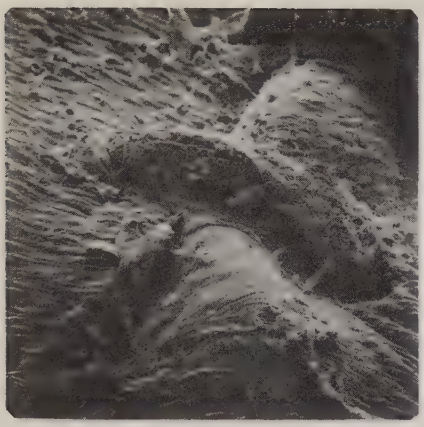
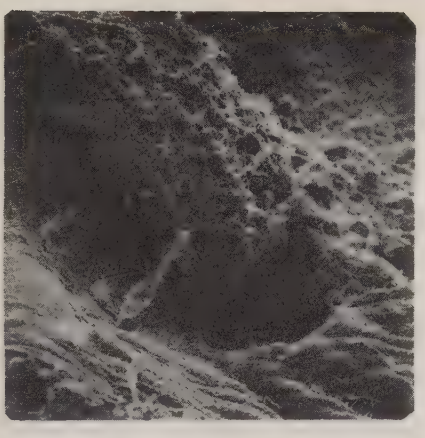


Abb. 6b



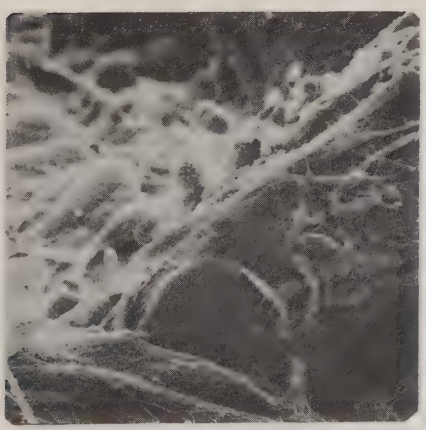


Abb. 6c

Abb. 6d

Vicryl^{R} 4 Tage post op.

Abb. 7a: Die Anastamosenschnittlinie verläuft von rechts unten nach links oben. Im Bereich des Nahtbogens scheint der Defekt bereits verschlossen. Im unteren Bildteil erkennt man proliferierende Endothelzellen am Schnittrand, die sich vom übrigen Zellverband durch massigere Zellkörper abheben.
Am linken Fadeneintritt sitzt dem Stichkanal ein kleiner Thrombus auf. Der Faden ist mit Thrombozyten und kugelig bis ovalen Zellen locker besetzt.
(Neg. Nr. 77098/Vergr. 350)

Abb. 7b: Rechter Anteil des Fadenbogens von Abb. 7a. Der Faden ist mit vereinzelten Thrombozyten sowie mit Leukozyten (es handelt sich dabei um Granulozyten oder Monozyten) besetzt, die z.T. durch pseudopodienartige Zellfortsätze am Faden haften. Vor dem Fadeneintritt erkennt man neben einer kleinen Rundzelle eine aus vereinigten Monozyten aufgebaute Riesenzelle.
(Neg. Nr. 77099/Vergr. 750)

Abb. 7c: Fadenmitte mit aufgelagerten Zellen. Deutlich erkennbar Thrombozyten im rechten Teil sowie kugelige z.T. auch ovale Zellen mit lappig, gekräuselt strukturierter Oberfläche und pseudopodienartigen Fortsätzen über dem Faden. (Vermutlich mononucleäre Zellen, aber auch Granulozyten weisen diese Oberflächenstruktur auf.
(Neg. Nr. 77102/Vergr. 1500)

Abb. 7d: Auch hier findet man um diese Eintrittsstelle des Fadens Leukozyten als Zeichen einer lokalen reaktiven Entzündung.
Das Endothel ist mit Thrombozyten besetzt, wie auch die Schnittstelle im Hintergrund.
(Neg. Nr. 77101/Vergr. 1500)

Abb. 7a

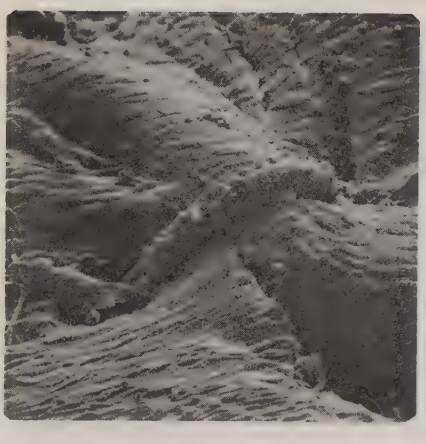


Abb. 7b

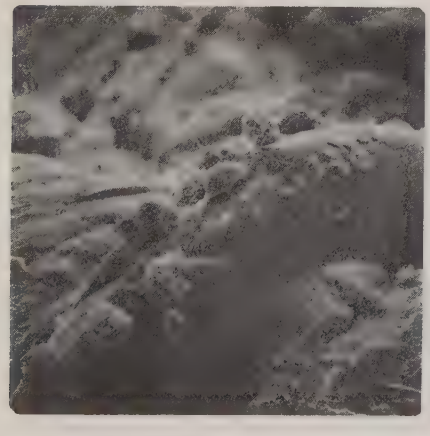


Abb. 7c

Abb. 7d

Chirurgischer Stahldraht 4 Tage post op.

Abb. 8a: Die Schnittlinie ist im rechten unteren Bildteil zu sehen. Die beiden Nahtbögen sind durch die Trocknung von der Unterlage abgehoben worden. Die Wundränder sind adaptiert. An den Einstichstellen sind große kraterförmige Endotheldefekte zu sehen; das subendotheliale Stratum liegt frei. Das Gewebe ist stark eingerissen. In der Tiefe der Defekte findet man zahlreiche Leukozyten.
(Neg. Nr. 76902/Vergr. 300)

Abb. 8b: Detail eines Stichkanals. In der rechten oberen Bildecke der austretende Faden. Im Defekt findet man Ansammlungen von Leukozyten mit stippelig strukturierter Oberfläche.
(Neg. Nr. 76914/Vergr. 1600)

Abb. 8c: Ein austretender Faden. Es ist ein abgerissenes Fibringerüst zu sehen, das sich auf der rechten Seite vom Faden zur Gefäßoberfläche erstreckte. Dem Faden sitzen zwischen den Fibrinfäden Leukozyten auf.
(Neg. Nr. 76909/Vergr. 1100)

Abb. 8d: Detail der dem Faden aufsitzenden Zellen. Die Oberfläche der kugeligen Zellen ist durch z.T. kurze rundliche, z.T. durch wulstartige Zellfortsätze strukturiert.
Vermutlich handelt es sich um Granulozyten.
(Neg. Nr. 76918/Vergr. 2500)

Abb. 8a

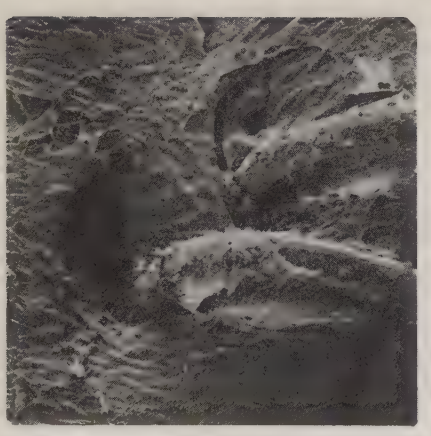


Abb. 8b

Abb. 8c

Abb. 8d

Ethilon^{R} (Nylon) 7 Tage post op.

Abb. 9: Am Eintrittspunkt des Fadens vom Gefäßlumen ins Gewebe sieht man ungeordnet proliferierende Endothelzellen auf den Faden zusprossen. (Spindelförmig mit verdicktem Zell-Leib). Reste von Fibrin, Thrombozyten und Rundzellen sind vorhanden.
(Neg. Nr. 77104/Vergr. 1500)

Vicryl^{R} 7 Tage post op.

Abb. 10: Blick von oben auf den Stichkanal. Neben Fibrinresten und einigen Erythrozyten ebenfalls sprossende Endothelzellen mit z.T. langen Zellfortsätzen ungeordnet um den Faden.
(Neg. Nr. 77109/Vergr. 1000)

Chirurgischer Stahldraht 7 Tage post op.

Abb. 11a: Im Bereich des Stichkanals (linke untere Bildecke) ist deutlich ein kraterartiger Defekt zu sehen. Er wird z.T. durch ein Blutkoagulum, vor allem links vom Fadenaustritt, sowie durch sprossende Zellen ausgefüllt.
Dazwischen und auf den Faden übergreifend langgestreckte ungleichmäßig proliferierende Endothelzellen. Der Riß im Bereich der Narbe ist artefiziell bedingt.
(Neg. Nr. 77118/Vergr. 525)

Abb. 11b: Eintrittsstelle des Fadens (Drahtes). Ein ungeordneter Endothelzellverband bedeckt den Faden. Dazwischen erkennt man Fibringerüstreste und vereinzelte Leukozyten.
(Neg. Nr. 77116/Vergr. 1500)

Abb. 9

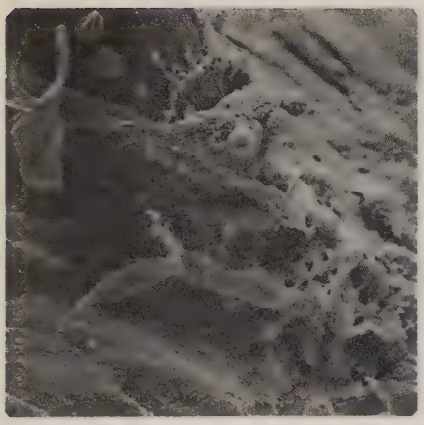


Abb. 10

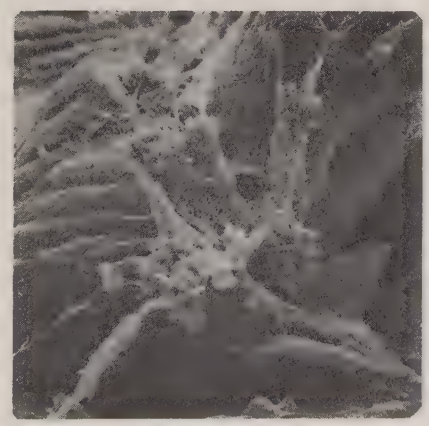


Abb. 11a

Abb. 11b

Ethilon^{R} (Nylon) 8 Tage post op.

Abb. 12a: Ein Nahtbogen eingelagert ins Endothel. Seine Oberfläche ist frei von Fibrin und mit Leukozyten locker besetzt. Sie sind auch um die Einstichstellen gelagert. Von dort aus schieben sich Endothelzellen über den Faden. Die Schnittlinie ist durch Endothel überbrückt und nicht mehr zu erkennen. (Sie verläuft von rechts oben nach links unten.) (Neg. Nr. 77120/Vergr. 750)

Abb. 12b: Detail der dem Faden aufsitzenden Zellen von Abb. 12a. Die Zellen haften mit dünnen pseudopodienartigen hauchdünnen Zellmembranfortsätzen am Faden. Ihre Oberfläche wird von gewellten, firstartig bis wulstigen Zellfortsatzstrukturen gebildet (Granulozyten oder Monozyten). (Neg. Nr. 77121/Vergr. 5000)

Abb. 12c: Es ist ein Nahtbogen und die Narbe der Anastomose zu sehen. Der Faden ist artifiziell etwas vom Endothel abgehoben und wieder mit Rundzellen besetzt. Die Schnittlinie ist leicht eingezogen, aber vollständig von Endothelzellen überbrückt, deren Zellkörper sich bauchig aufwerfen. (Neg. Nr. 77123/Vergr. 500)

Abb. 12d: An einer Einstichstelle schieben sich proliferierende Endothelzellen über den Faden. Im linken Bildteil ist bereits ein Endothelzellverband vorhanden. Im rechten unteren Quadranten hebt sich eine Endothelzelle mit großem Zell-Leib und deutlichem Zellfortsatz ab. Ihre Oberfläche ist fein strukturiert. Begleitet wird die Regeneration des Endothels durch Leukozyten. (Neg. Nr. 77131/Vergr. 2100)

Abb. 12a

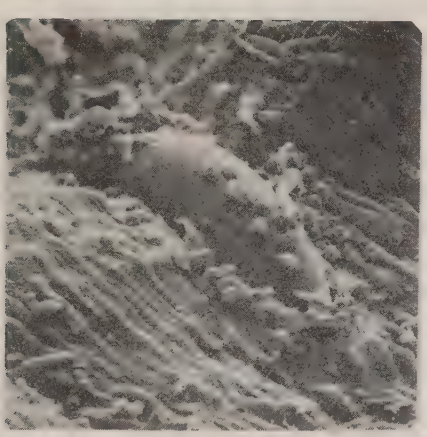


Abb. 12b

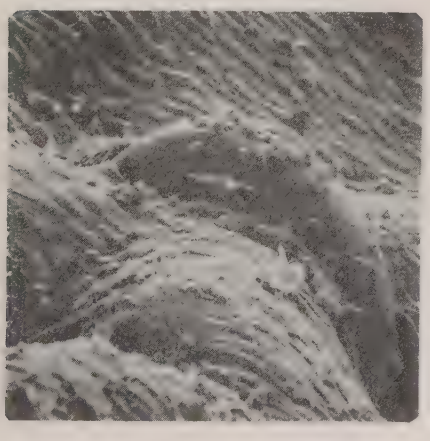


Abb. 12c

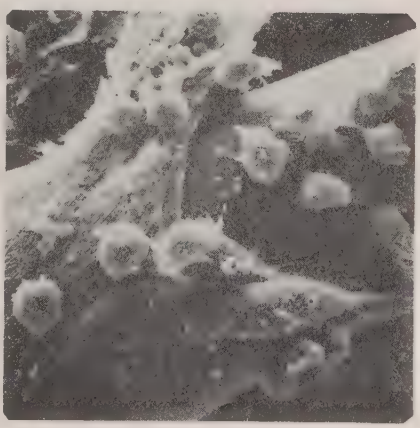


Abb. 12d

Vicryl^{R} 8 Tage post op.

Abb. 13a: Die Schnittlinie verläuft von oben links nach unten rechts. Sie ist vollkommen endothelisiert. Von einem Fadenbogen liegt nur noch der mittlere Teil frei. Von beiden Einstichstellen hat sich ein Endothelzellverband über den Faden geschoben.
(Neg. Nr. 77133/Vergr. 500)

Abb. 13b: Detailaufnahme von Abb. 13a. Auf dem freien Fadenteil wieder aufsitzende Leukozyten, die z.T. sehr lange Zellausläufer ausbilden. Die Endothelzellen sind im oberen Abschnitt noch quer zur Strömungsrichtung angeordnet; vermutlich aufgrund einer Wirbelbildung im Blutstrom.
(Neg. Nr. 77136/Vergr. 1500)

Abb. 13c: Ein Fadenbogen ist bereits vollständig von einem Endothelzellverband bedeckt. Der Faden ist durch einen Trocknungsriß artefiziell freigelegt.
(Neg. Nr. 77132/Vergr. 550)

Abb. 13d: Ein Faden tritt in der unteren Bildmitte aus der Gefäßwand heraus nach rechts. Man erkennt einen festen Zellverband langgestreckter Endothelzellen über dem Faden. Die Zellkörperoberflächen weisen wieder eine leichte Strukturierung auf. Am Stichkanal links unten ist noch eine Einsenkung sichtbar.
(Neg. Nr. 77139/Vergr. 1150)

Abb. 13a

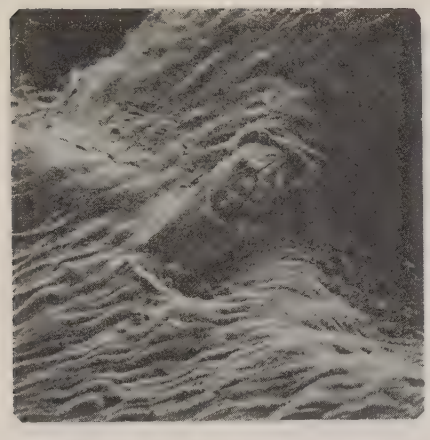


Abb. 13b

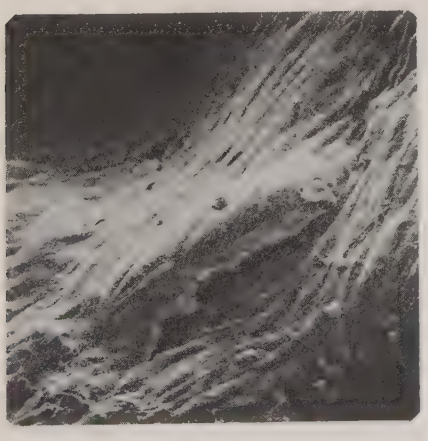


Abb. 13c

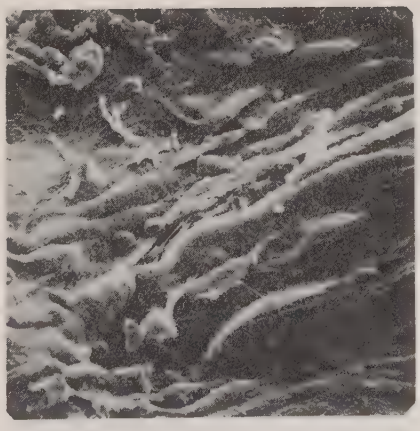


Abb. 13d

Ethilon^{R} (Nylon) 11 Tage post op.

Abb. 14a: Ein vollständig von einem Endothelzellverband bedeckter Fadenbogen. Die Schnittlinie ist nicht mehr zu erkennen. Die Risse im Endothelzellverband sind artefiziell bedingt.
(Neg. Nr. 77409/Vergr. 500)

Abb. 14b: Ein weiter ins Lumen reichender Fadenbogen. Die Endothelisierung ist noch nicht so weit fortgeschritten. Z.T. ist es auch zu starken Abrissen durch die Trocknung gekommen. Im rechten Bildteil ein Endothelzellverband über Faden und Stichkanal. Der freie Faden ist mit Leukozyten mit pseudopodienartigen Zellfortsätzen besetzt. Bei der großen kugeligen Zelle handelt es sich möglicherweise um eine Riesenzelle (Fremdkörper kann auch nicht ausgeschlossen werden).
Vom Grund des Stichkanals sproßt ein Bündel proliferierender Zellen empor (Endothelzellen?). Man sieht, welch starker Reiz zur Zellneubildung vorhanden ist.
(Neg. Nr. 77408/Vergr. 1100)

Chirurgischer Stahldraht 10 Tage post op.

Abb. 15a: Ein Fadenbogen überspannt die vollkommen geschlossene Schnittlinie der Anastomose. Von den Einstichstellen her hat sich ebenfalls ein Endothelzellverband fast bis zur Bogenmitte gebildet. Dort liegt der Faden noch frei.
(Neg. Nr. 77418/Vergr. 350)

Abb. 15b: Detail von 15a: Faden und Eintrittstelle. Sehr gut sind hier die neugebildeten Endothelzellen zu erkennen. Z.T. besitzen sie sich verzweigende Fortsätze und eine stark strukturierte Oberfläche.
(Neg. Nr. 77419/Vergr. 700)

Abb. 14a

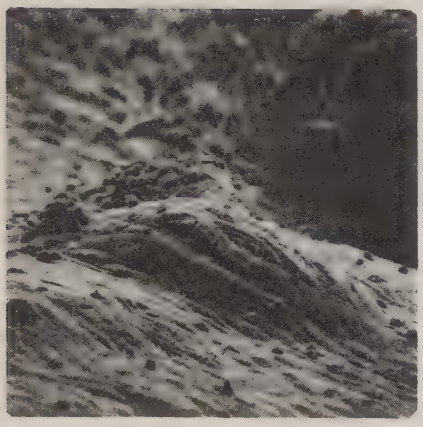
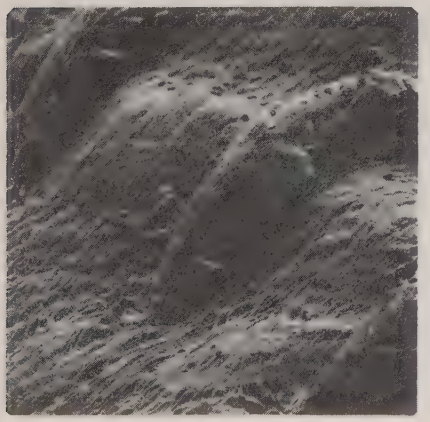


Abb. 14b



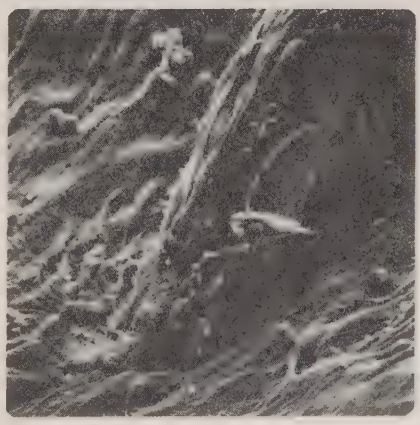


Abb. 15a

Abb. 15b

Vicryl^{R} 11 Tage post op.

Abb. 16a: Der Fadenbogen ist vollkommen von einem Endothelzellverband bedeckt.
Die Zellen gehen von der Gefäßintima gleichmäßig auf die Fadenoberfläche über. Im Vordergrund in Bildmitte fällt die von Endothelzellen geschlossene Schnittlinie kaum mehr auf.
(Neg. Nr. 77412/Vergr. 350)

Abb. 16b: Wieder ein vollständig endothelisierter Fadenbogen. Die Endothelzellen sind in Längsrichtung des Gefäßes ausgerichtet.
Die Narbe der Anastomosenstelle ist noch als leichte Einsenkung zu sehen (von der linken Bildmitte zur rechten unteren Ecke), aber vollständig durch regelmäßige Endothelzellen geschlossen.
(Neg. Nr. 77415/Vergr. 350)

Abb. 16c: Detailaufnahme des Endothelzellverbandes über der Eintrittstelle des Fadens.
Einige Endothelzellen heben sich mit ihren axialen Fortsätzen deutlich hervor. Der Faden ist rechts oben artefiziell freigelegt. Vereinzelt sind noch Leukozyten vorhanden.
(Neg. Nr. 77414/Vergr. 1100)

Abb. 16a

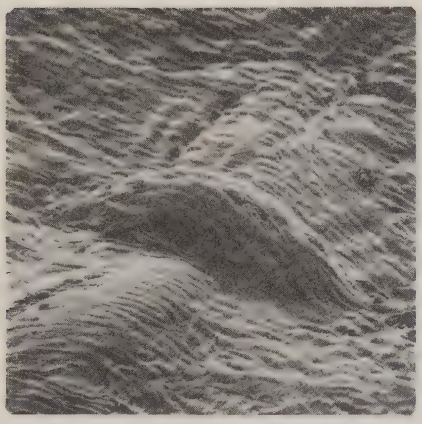


Abb. 16b

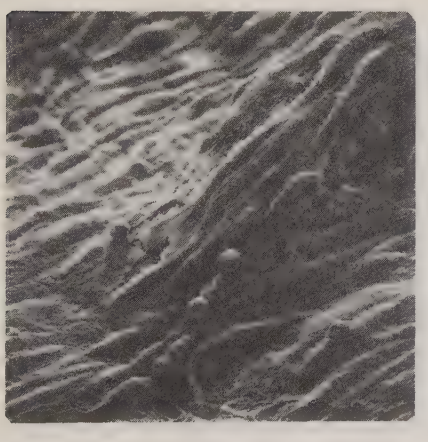


Abb. 16c

Ethilon^{R} (Nylon) 14 Tage post op.

Abb. 17a: Die Übersicht über die Naht zeigt den gleichmäßigen Übergang der vereinigten Gefäßstümpfe. Nur die Nahtbögen wölben sich noch deutlich ins Gefäßlumen.
(Neg. Nr. 77181/Vergr. 60)

Abb. 17b: Der Fadenbogen ist vollständig endothelisiert. An den Einstichstellen besteht ein glatter Übergang zur Intima. Die Zellen sind sowohl über dem Faden als auch über der Schnittlinie in Längsrichtung des Gefäßes angeordnet.
(Neg. Nr. 77182/Vergr. 400)

Abb. 17c: Detail einer Einstichstelle. Der Endothelzellverband ist durch einen Trocknungsriß aufgebrochen. Der Faden liegt dadurch z.T. frei. Man gewinnt einen Eindruck über die Stärke der Zellschicht. Es handelt sich um ein einschichtiges Endothel über dem Faden. In der linken unteren Bildecke sieht man Erythrozyten.
(Neg. Nr. 77183/Vergr. 900)

Abb. 17a

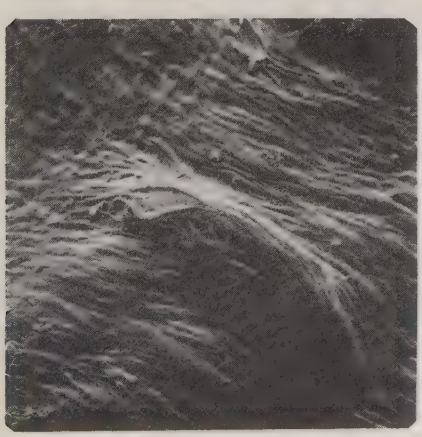


Abb. 17b

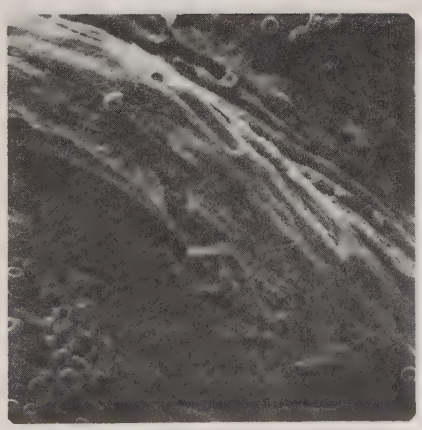


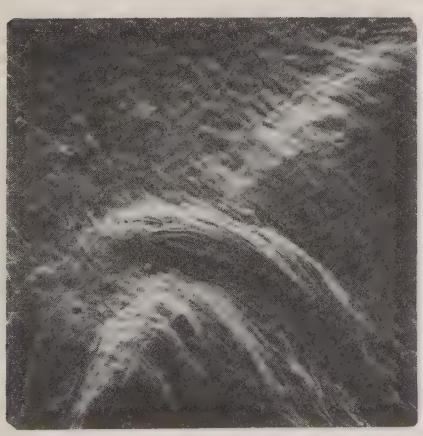
Abb. 17c

Vicryl^{R} 14 Tage post op.

Abb. 18a: Übersicht über die Naht.
Es besteht ein glatter Übergang an den anastomosierten Gefäßstümpfen. Die Nahtbögen sind von Gewebe überzogen und wölben sich noch ins Lumen des Gefäßes.
(Neg. Nr. 98821/Vergr. 90)

Abb. 18b und 18c:
Bei beiden Nahtbögen besteht ein geschlossener Verband von Endothelzellen über dem Faden. Es sind gleichmäßige Übergänge an den Einstichstellen vom Endothel über dem Faden zum Gefäßendothel vorhanden.
Die Narbe (sie verläuft von rechts oben nach links unten) ist leicht erhaben und vollständig endothelisiert.
Die Risse im Zellverband sind artefiziell bedingt.
(Neg. Nr. 77194/Vergr. 330 und Neg. Nr. 77198/ Vergr. 600)

Abb. 18a



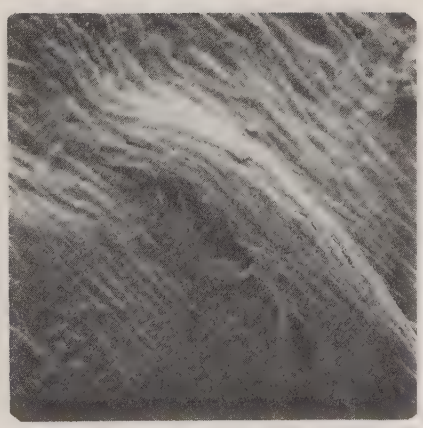


Abb. 18b Abb. 18c

Chirurgischer Stahldraht 15 Tage post op.

Abb. 19a: Übersicht über die Naht.
Die Gefäßstümpfe sind durch die Naht adaptiert. Die Narbe ist etwas aufgeworfen. Die einzelnen Nahtbögen wölben sich weit ins Lumen. Sie sind alle endothelisiert. Unten links ist ein Faden artefiziell freigelegt.
Es besteht ein unruhigeres Narbengebiet als bei Vicryl^{R} und Ethilon^{R}.
(Neg. Nr. 77202/Vergr. 80)

Abb. 19b: Der Faden ist vollständig durch einen Endothelzellverband bedeckt. Im Bereich der Bogenmitte sind die Zellen in Längsrichtung angeordnet. An den Eintrittstellen ist der Zellverlauf noch unregelmäßig. Es besteht noch kein gleichmäßiger Übergang von der Intima zum Endothel über dem Faden. Die Endothelzellen im Bereich der Narbe verlaufen regelmäßig. Der Riß entlang dem Fadenbogen ist artefiziell bedingt.
(Neg. Nr. 77199/Vergr. 390)

Abb. 19c: Detail rechter Fadeneintritt von Abb. 19b. Man erkennt noch Einsenkungen in Richtung des Stichkanals, die Endothelzellen sind noch ungeordnet ausgerichtet, teilweise quer zur Strömungsrichtung des Blutes.
(Neg. Nr. 77200/Vergr. 950)

Abb. 19a

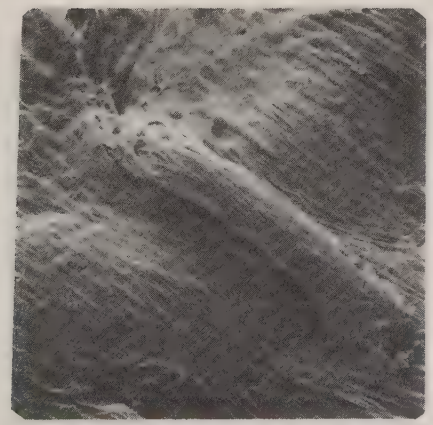


Abb. 19b

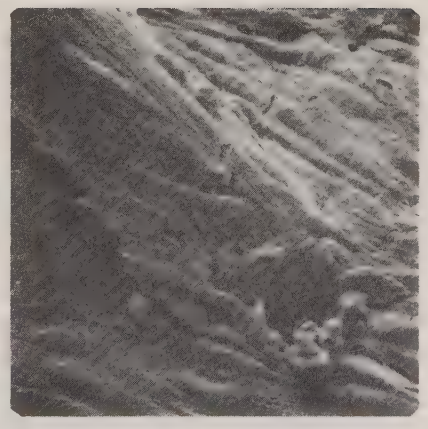


Abb. 19c

Ethilon^{R} (Nylon) 16 Tage post op.

Abb. 20a: Man erkennt über diesem Fadenbogen sehr deutlich den dichten Verband langgestreckter, gleichmäßiger Endothelzellen.
(Neg. Nr. 77462/Vergr. 550)

Abb. 20b: Detail von Abb. 20a. Eintrittstelle des Faden. Die Endothelzellen gehen gleichmäßig von der Gefäßintima auf den Faden über, alle Zellen sind in Strömungsrichtung angeordnet.
(Neg. Nr. 77463/Vergr. 1100)

Abb. 20c: Fadenbogen mit nicht weggespülten Erythrozyten. Es besteht ein kleiner artefizieller Riß im Endothelverband; es handelt sich um eine einschichtige Zell-Lage über dem Faden.
(Neg. Nr. 77466/Vergr. 1025)

Abb. 20d: Narbenlinie.
Die ehemalige Schnittlinie verläuft von links oben nach rechts unten. Es sind bauchige typische Endothelzellen mit stippeliger Oberfläche über einer leichten Einsenkung zu sehen.
Auch die axialen Zellfortsätze sind bei einigen Zellen deutlich sichtbar.
(Neg. Nr. 77464/Vergr. 1050)

Abb. 20a

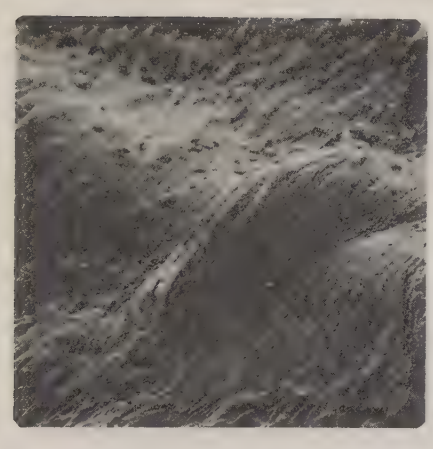
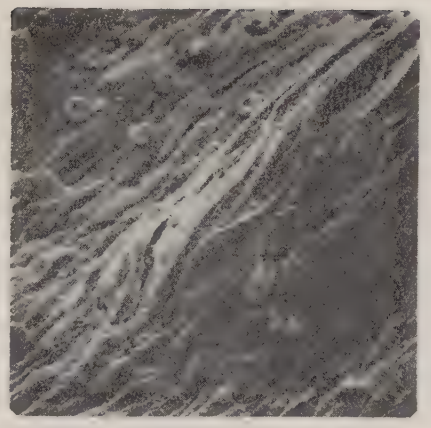


Abb. 20b



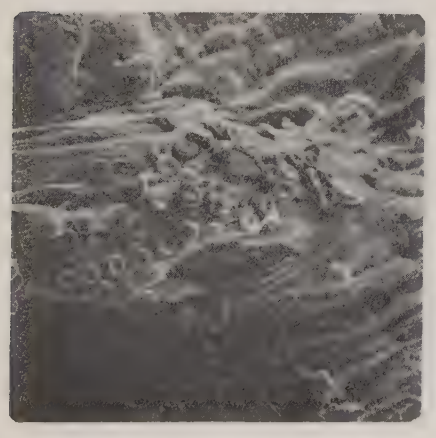


Abb. 20c

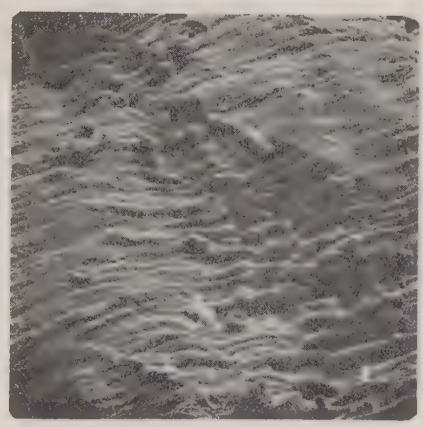


Abb. 20d

Ethilon^{R} (Nylon) 22 Tage post op.

Abb. 21a: Trotz des Trocknungsrisses ist der gleichmäßige endotheliale Überzug über dem Faden erkennbar. Auch im Bereich der Schnittlinie ist das Endothel vollkommen regelmäßig.
(Neg. Nr. 76918/Vergr. 350)

Abb. 21b: Detail einer Fadeneintrittstelle.
In Bildmitte sind durch einen Trocknungsriß subendotheliale Fasern über dem Faden freigelegt.
(Neg. Nr. 76916/Vergr. 1200)

Ethilon^{R} (Nylon) 33 Tage post op.

Abb. 22a: Übersicht über die Nahtlinie.
Die Narbe sowie die Nahtbögen werden unauffälliger. Die Bögen scheinen langsam im Endothel zu "versinken". Sie sind kaum noch ins Gefäßlumen hinein erhaben. In der Bildmitte ein artefiziell freigelegter Fadenbogen.
(Neg. Nr. 78535/Vergr. 70)

Abb. 22b: Ein Nahtbogen, der sich kaum noch aus dem Niveau des Endothels heraushebt.
(Neg. Nr. 78536/Vergr. 800)

Abb. 21a

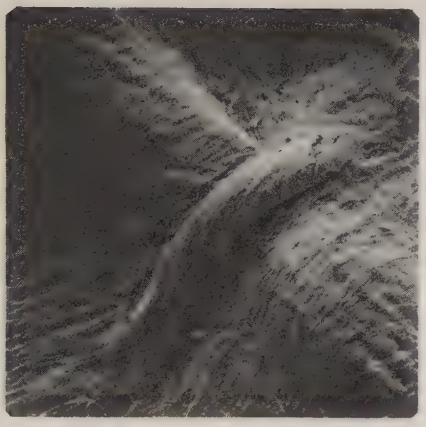


Abb. 21b

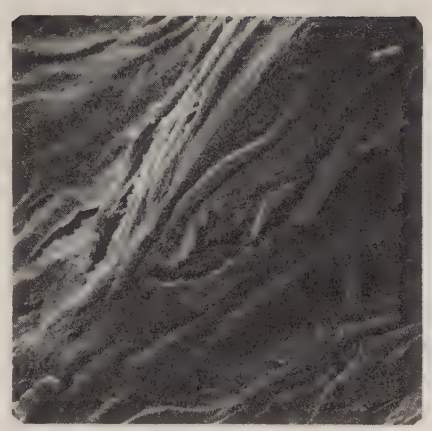


Abb. 22a

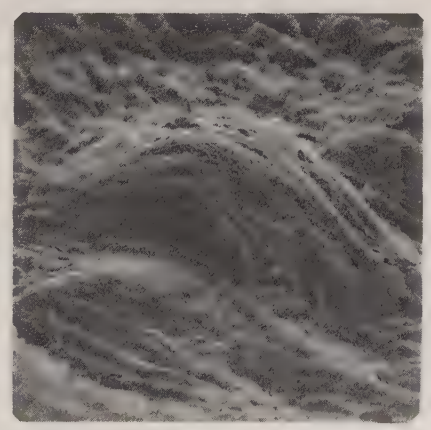


Abb. 22b

Vicryl^{R} 22 Tage post op.

Abb. 23a: Der Nahtbogen ist von einem festen Endothelverband bedeckt. Die Narbe ist vollkommen unauffällig. Die einzelnen Zellen verlaufen in Richtung der Gefäßachse.
(Neg. Nr. 77206/Vergr. 400)

Abb. 23b: Detail des Fadeneintritts von Abb. 23a. Der Übergang des Endothels auf den Faden von links unten nach rechts oben ist gleichmäßig.
Bei einigen Zellen ist ihre Verankerung durch die Zellfortsätze im Endothelverband erkennbar.
(Neg. Nr. 77207/Vergr. 1025)

Chirurgischer Stahldraht 21 Tage post op.

Abb. 24a: Der Faden und die Einstichstelle sind vollständig von Endothel bedeckt. Das Freiliegen des Fadens ist artefiziell bedingt.
(Neg. Nr. 77403/Vergr. 875)

Abb. 24b: Einstichstelle: Der Faden ist endothelisiert, der Krater durch den Einstich ist jedoch noch nicht regelmäßig regeneriert. Dort besteht noch immer eine Einsenkung mit ungleichmäßiger Zellanordnung und einer Ansammlung von Leukozyten.
(Neg. Nr. 77401/Vergr. 875)

Abb. 23a

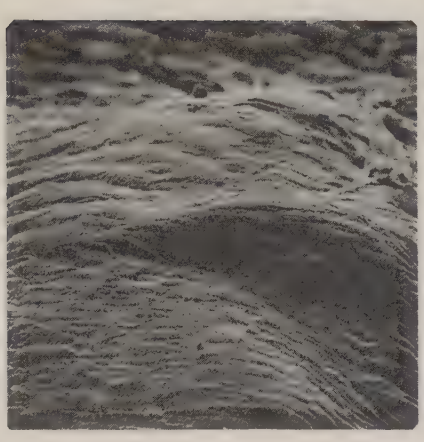
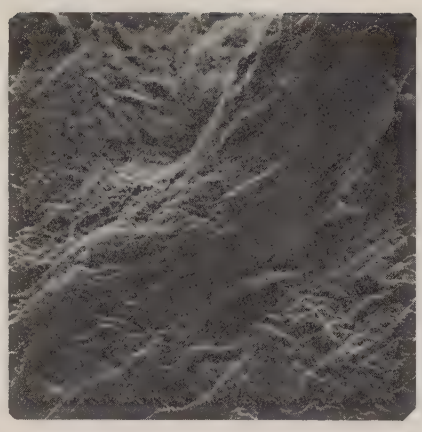


Abb. 23b



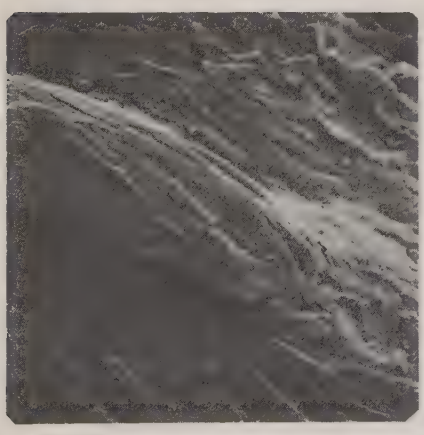
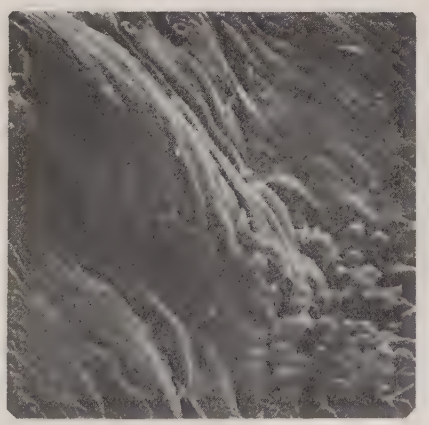


Abb. 24a

Abb. 24b



Vicryl^{R} 30 Tage post op.

Abb. 25a: Übersicht über die Anastomosennarbe.
Der ursprüngliche Schnitt verläuft von rechts oben nach links unten.
Das Endothel ist dort teilweise leicht eingezogen, teilweise etwas erhaben. Die Narbe ist aber insgesamt glatt. Es sind keine ins Lumen sich vorwölbenden Nahtbögen mehr zu erkennen.
(Neg. Nr. 77447/Vergr. 105)

Abb. 25b: Detail der Narbe.
Sie ist flach und vollkommen endothelisiert. Nahtbögen sind nicht mehr zu erkennen. Die Zellen sind etwas abgeflacht, was vermutlich präparatorisch bedingt ist.
(Neg. Nr. 77451/Vergr. 220)

Vicryl^{R} 33 Tage post op.

Abb. 26a: Hier sind die Nahtbögen noch als leichte Vorwölbungen des Endothels zu sehen. Die endotheliale Auskleidung des Gefäßes bedeckt überall gleichmäßig Faden und Schnittlinie.
(Neg. Nr. 78547/Vergr. 100)

Abb. 26b: Detail eines Fadenbogens.
Die Zellen sind alle in Richtung der Gefäßachse angeordnet. Die Übergänge vom Faden in die Umgebung sind nach allen Seiten gleichmäßig.
Artefizielle Aufbrüche treten nicht mehr auf, ein Zeichen dafür, daß bei der Trocknung keine Spannungen mehr zwischen Faden und Gewebe bestanden.
(Neg. Nr. 78549/Vergr. 300)

Abb. 25a

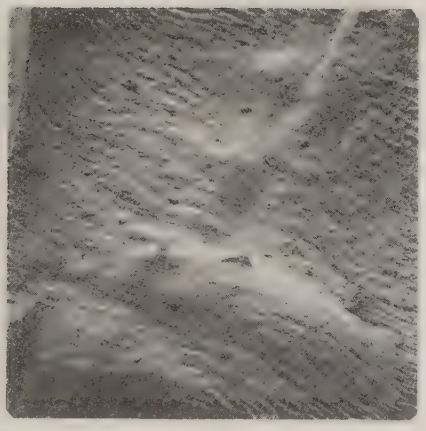


Abb. 25b

Abb. 26a

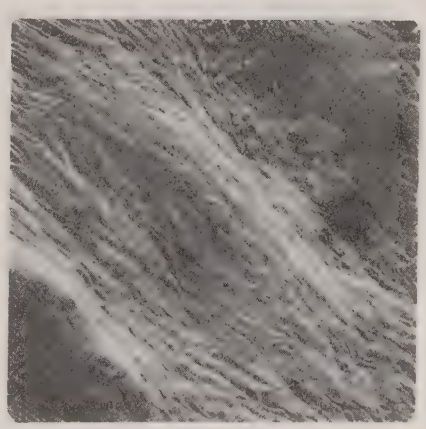


Abb. 26b

Chirurgischer Stahldraht 28 Tage post op.

Abb. 27a: Übersicht über die Naht.
Die Schnittlinie ist regelmäßig geschlossen. Die Nahtbögen sind vollständig endothelisiert, ragen aber weit ins Lumen des Gefäßes hinein.
(Neg. Nr. 78542/Vergr. 95)

Abb. 27b und 27c:
Details zweier Fadenbögen.
Der Faden ist artefiziell freigelegt. Er ist von einem einschichtigen gleichmäßigen Endothelverband bedeckt. Auch die Übergänge im Bereich der Einstichstellen sind jetzt fließend. Es bestehen keine kraterartigen Einsenkungen mehr. Die Narbe wird von vollkommen regelmäßigen Zellen gebildet und ist kaum mehr zu sehen.
(Neg. Nr. 78543/Vergr. 500 und Neg. Nr. 78546/Vergr. 500)

Abb. 27a

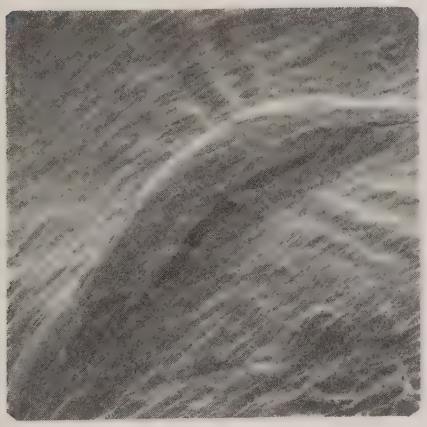


Abb. 27b

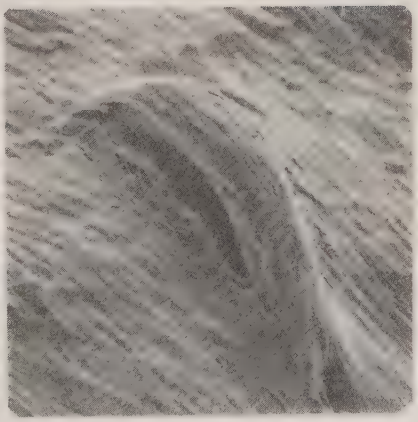


Abb. 27c

V. DISKUSSION

Durch die Rasterelektronenmikroskopie gewinnt man trotz unvermeidlicher Artefaktbildungen einen guten Einblick in die reparativen Vorgänge im Bereich des Gefäßendothels im Anschluß an eine mikrochirurgische Gefäßnaht.

In der ersten Phase bis 4 Tage post operativ steht die Reaktion aller Gefäßwandabschnitte auf das Operationstrauma im Vordergrund. Es kommt zur Anlagerung von Thrombozyten an die Fäden sowie die Endotheldefekte der Schnittlinie und Stichkanäle. Diese Thrombozytenaggregation ist die allererste Reaktion der Blutbestandteile bei freiliegendem subendothelialem Gewebe (SHOOP et al., 1970). Kleine Thromben, aufgebaut aus Fibrin, Leukozyten, Erythrozyten und Thrombozyten, liegen z.T. den Nähten auf. So spricht ACLAND (1973) sogar von einem gewissen thrombogenetischen Effekt von Gefäßnaht und Operationstrauma.

Während diesem Stadium findet man im Bereich der Naht zahlreiche Leukozyten, wobei es sich wahrscheinlich um mononucleäre Zellen (Fremdkörperreiz) und um Granulozyten (unspezifische reaktive Entzündung) handelt (POLLIAK, 1977; GREGORIUS und RAND, 1976). Sie sind vor allem angelagert an die Fäden sowie in den kraterartigen Stichkanälen zu sehen.

An der Fadeneintrittstelle findet man ungeordnet proliferierende Endothelzellen oder Endothelzelläquivalente, deren Ursprung noch nicht geklärt ist. FISHMAN et al. (1975) und THURSTON et al. (1976) weisen darauf hin, daß sich die neugebildeten Zellen aus ungeschädigten Endothelzellen aus der Defektrandzone bilden. TS'AO (1968) hingegen beschreibt die Möglichkeit der Umwandlung von speziellen Zellen der Myointima in Endothelzellen.

Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen an Gefäßanastomosen von RIEDIGER (1980) zeigen so hochdifferenzierte Zellen in Endothelzellposition, daß eine Abstammung

von Mediazellen unwahrscheinlich ist. Zur Abklärung dieser Frage sind jedoch noch weitere Untersuchungen notwendig.

Die nächste Heilungsphase ist gekennzeichnet durch die Wiederherstellung einer Gefäßintima.

Die Nahtstelle wird durch das Überwachsen von Endothelzellen geschlossen (nach 7 Tagen). Die sich ins Lumen wölbenden Nahtbögen werden vorwiegend von den Eintrittstellen der Fäden aus, also in Längsrichtung des Gefäßes, von neuem Endothel überzogen. Diese axial orientierte Regenerationsrichtung beschreibt SCHWARTZ et al. (1978). Dabei gehen die Reaktionen der freien Blutbestandteile zurück, die Thromben sind abgebaut, es sind weniger Thrombozyten im Anastomosenbereich angelagert, einzig die Leukozyten bleiben bis zum vollständigen Defektverschluß vorhanden.

Nach 14 Tagen ist die neue endotheliale Auskleidung vollkommen lückenlos. Dies bestätigen auch HARASHINA et al. (1976) und MINDERJAHN und DAHM (1980), während SERVANT et al. (1976) wesentlich längere Regenerationszeiten beschreibt.

In der dritten Phase (14 - 30 Tage) tritt eine Verfestigung des neuen Endothels ein. Die Zellen richten sich regelmäßig in Längsrichtung des Gefäßes aus. Unebenheiten im Bereich der Anastomosennarbe werden ausgeglichen. Dabei zeigt sich keinerlei Reaktion der freien Blutbestandteile mehr.

Über die subendothelialen Heilungsabläufe kann aus dieser Untersuchung nichts ausgesagt werden. Sie sind vorwiegend durch eine Neubildung der Lamina elastica interna sowie eine Hyperplasie der Intima charakterisiert (BAXTER et al., 1972; ACLAND und TRACHTENBERG, 1977; HAUSAMEN et al., 1977 und RIEDIGER, 1980).

Die dargestellte Endothelregeneration verläuft im Prinzip bei allen drei angewandten Nahtmaterialien gleich. Unterschiede treten in Bezug auf die Regenerationszeit auf. Dies hängt vorwiegend von den physikalischen Eigenschaften des Nahtmaterials (Elastizität, Geschmeidigkeit) und der damit verbundenen geringeren oder stärkeren Traumatisierung des Gefäßes bei der Operation ab.

Vicryl^{R} und Ethilon^{R} verhalten sich dabei ähnlich. Bei dem sehr weichen Vicryl^{R} sind einzelne Nahtbögen bereits nach 8 Tagen und die gesamte Anastomose nach 11 Tagen reendothelisiert. Beim Nylonfaden sind einzelne Bögen nach 11 Tagen und die ganze Naht nach 14 Tagen vollständig von Endothel überzogen.

Bei den Stahlfäden treten aufgrund der stärkeren Gewebstraumatisierung längere Regenerationszeiten auf, bis eine vergleichbare Intimaoberflächenbeschaffenheit erreicht ist.

In der Schlußphase kommt es bei allen Materialien zur vollständigen Reendothelisierung. Die unauffälligste Restnarbe ergibt das resorbierbare Vicryl^{R}, bei dem nach 4-5 Wochen eine völlig gleichmäßige Gefäßoberfläche im Anastomosenbereich erreicht wird. Die von DAHLKE et al. (1979) beschriebenen günstigen Eigenschaften des Vicryls in Bezug auf seine gewebliche Reaktion in Gefäßanastomosen kann auch vom endothelialen Heilungsverlauf bestätigt werden.

Bei Verwendung von Nylon und insbesondere bei den Stahlfäden bleiben die ins Lumen reichenden Nahtbögen als Vorwölbungen der Intima erhalten.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

In einer tierexperimentellen Arbeit wurde die Endothelregeneration nach mikrochirurgischer Vereinigung der durchtrennten ca. 1,3 mm starken Aorta abdominalis von 30 Spraque-Dawley Ratten untersucht.

Die Gefäßanastomosen wurden mit drei verschiedenen Nahtmaterialien der Stärke 10-0 durchgeführt:
1. Nicht resorbierbares Nylon: Ethilon^{R} (Ethicon)
2. Resorbierbares Polyglactin 910: Vicryl^{R} (Ethicon) und
3. Chirurgischer Stahldraht (Medipoint).

Es wird auf die Operations- und Präparationstechnik eingegangen.

Die endothelialen Reaktionen und Heilungsabläufe werden rasterelektronenmikroskopisch nach Liegezeiten zwischen 4 und 30 Tagen ausführlich dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen folgendes:

a) Thrombotische Verschlüsse der Anastomosen kamen nicht vor.

b) Eine vollständige Reendothelisierung trat bei allen Nahtmaterialien auf.

c) Der chirurgische Stahldraht kann aufgrund seiner schlechten Verarbeitbarkeit und dadurch bedingten starken Traumatisierung des Gewebes für die Mikrogefäßnaht nicht empfohlen werden.

d) Das bewährte Ethilon^{R} und das neuere resorbierbare Vicryl^{R} erweisen sich als gleichwertig einsetzbare Nahtmittel für die Mikrovascularchirurgie, wobei das Vicryl^{R} mit seinen sehr kurzen und sauberen Heilungsabläufen bevorzugt verwendet werden kann.

VII. LITERATURVERZEICHNIS

ACLAND, R.: A new needle for microvasuclar surgery.
Surgery 71, 130-131 (1972)

ACLAND, R.: Thrombus formation in microvascular surgery: an experimental study of the effects of surgical trauma.
Surgery 73, 766-771 (1973)

ACLAND, R.: Microvasuclar anastomosis: a device for holding stay sutures and a new vascular clamp.
Surgery 75, 185-187 (1974)

ACLAND, R.: Notes on the handling of ultrafine suture material.
Surgery 77, 507-511 (1975)

ACLAND, R. and TRACHTENBERG, L.: The histopathology of small arteries following experimental microvascular anastomosis.
Plast Reconstr Surg 59, 868-875 (1977)

BAXTER, T.J., O'BRIEN, B.M., HENDERSON, P.N. and BENNET, R.C.: The histopathologie of small vessels following microvascular repair.
Br J Surg 59, 617-622 (1972)

BUNKE, H.J. and McLEAN, D.H.: The advantage of a straight needle in microsurgery.
Plast Reconstr Surg 47, 602-603 (1971)

BUNKE, H.J. and SCHULZ, W.P.: Experimental digital amputation and reimplantation.
Plast Reconstr Surg 36, 62-70 (1965)

BUNKE, H.J. and SCHULZ, W.P.: Total ear reimplantation in the rabbit utilising micromineatur vascular anastomoses.
Br J Plast Surg 19, 15-22 (1966)

CHASE, M.D. and SCHWARTZ, S.I.: Suture anastomosis of small arteries.
Surg Gynecol Obstet 117, 44-46 (1963)

CHASE, M.D., SCHWARTZ, S.I. and ROB, C.: A technique of small artery anastomosis.
Surg Gynecol Obstet 116, 381-384 (1963)

COBBETT, J.R. (a): Microvascular surgery.
Surg Clin North Am 47, 521-542 (1967)

COBBETT, J.R. (b): Small vessel anastomosis - a comparison of suture techniques.
Br J Plast Surg 20, 16-20 (1967)

DAHLKE, H., DOCIU, N. und THURAU, K.: Synthetisches, resorbierbares und synthetisches, nicht resorbierbares Nahtmaterial in der mikrovaskulären Chirurgie - Tierexperimentelle Studie.
Handchirurgie 11, 3-13 (1979)

DANIEL, R.K. and SWARTZ, W.M.: Advances in microsurgery.
Adv Surg 11, 285-339 (1977)

DANIEL, R.K. and TAYLOR, G.I.: Distant transfer of an island flap by microvascular anastomosis. A clinical technique.
Plast Reconstr Surg 52, 111-116 (1973)

DOCIU, N.: Vicryl und sein Verhalten im Gewebe.
Sonderdruck aus ETHICON OP Forum 96 (1978)

FISHMAN, J.A., RYAN, G.B. and KARNOVSKY, M.J.: Endothelial regeneration in the rat carotid artery and the significance of endothelial denudation in the pathogenesis of myointimal thickening.
Lab Invest 32, 339-351 (1975)

FUJIMAKI, A., O'BRIEN, B.M., KURATA, T. and THRELFALL, G.N.: Experimental micro-anastomosis of 0.4-0.5 mm vessels.
Br J Plast Surg 30, 269-272 (1977)

FUJINO, T. and AOYAGI, F.: A method of successive interrupted suturing in microvascular anastomoses.
Plast Reconstr Surg 55, 240-241 (1975)

GREGORIUS, F.K. and RAND, R.W.: In vivo evaluation of nylon suture material by the scanning electron microscope.
Surg Gynecol Obstet 143, 429-432 (1976)

HARASHINA, T.: Use of the united suture in microvascular anastomoses.
Plast Reconstr Surg 59, 134-135 (1977)

HARASHINA, T., FUJINO, T. and WATANABE, S.: The intimal healing of microvascular anastomoses.
Plast Reconstr Surg 58, 608-613 (1976)

HAUSAMEN, J.E., REUTHER, J. und HAMM, R.: Mikrochirurgische Gefäßanastomosen im Tierexperiment.
Dtsch Z Mund-Kiefer-Gesichtschir 1, 24-29 (1977)

HENDERSON, D.N., O'BRIEN, B.M. und PAREL, J.M.: An adjustable double microvascular clamp.
Med J Aust 1, 715-717 (1970)

JACOBSON, J.H. and SUAREZ, E.L.: Microsurgery in anastomosis of small vessels.
Surg Forum 11, 243-245 (1960)

KOMATSU, S. and TAMAI, S.: Successful replantation of a completely cut-off thumb.
Plast Reconstr Surg 42, 374-377 (1968)

KRIZEK, T.J., TANI, T., DESPREZ, J.D. and KIEHN, C.L.: Experimental transplantation of composite grafts by microsurgical vascular anastomoses.
Plast Reconstr Surg 36, 538-545 (1965)

MATRAS, H., CHIARI, F.M., KLETTER, G. und DINGES, H.P.: Zur Klebung kleinster Gefäße im Tierversuch.
Dtsch Z Mund-Kiefer-Gesichtschir 1, 19-23 (1977)

MINDERJAHN, A. und DAHM, H.H.: Die Mikrogefäßnaht im Tierexperiment - ultrastrukturelle Untersuchungen zur Endothelregeneration.
Dtsch Zahnaerztl Z 35, 70-73 (1980)

MUXFELDT, H.: Synthetisch und doch resorbierbar - Die neue Aera des chirurgischen Nahtmittels.
Sonderdruck aus ETHICON OP Forum 85 (1976)

NATHAN, P.A. and ROSE, M.C.: An alternative technique for microvascular suture.
Plast Reconstr Surg 58, 635-637 (1976)

O'BRIEN, B.M.: The triploscope - a triple operating microscope.
Plast Reconstr Surg 45, 279-281 (1970)

O'BRIEN, B.M. and HAYHURST, J.W.: Metallized microsutures and a new micro needle holder.
Plast Reconstr Surg 52, 673-676 (1973)

O'BRIEN, B.M., HENDERSON, P.N. and CROCK, G.W.: Metallized microsutures.
Med J Aust 1, 717-719 (1970)

O'BRIEN, B.M., HENDERSON, P.N., BENNETT, R.C. and CROCK, G.W.: Microvascular surgical technique.
Med J Aust 2, 722-725 (1970)

OHNSORGE, J. und HOHN, R.: Rasterelektronenmikroskopie. Eine Einführung für Mediziner und Biologen
2. Auflage, Stuttgart: Thieme 1978

ÖSTRUP, L.T. and FREDRICKSON, J.M.: Microvascular surgery - techniques and applications in plastic surgery.
Scand J Plast Reconstr Surg 10, 18-28 (1976)

POLLIAK, A.: Normal, transformed and leukemic leucocytes.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1977

RIEDIGER, D.: Die freie Transplantation von Muskel-Fett-Hautlappen unter Verwendung mikrovaskulärer Anastomosen im Kiefer-Gesichtsbereich. - Eine experimentelle Studie.
Habil Schr Tübingen, 1980

ROBERTSON, J.H. and ROBERTSON, J.T.: The relationship between suture number and quality of anastomoses in microvascular procedures.
Surg Neurol 10, 241-245 (1978)

ROSENBAUER, K.A. und KEGEL, B.A.: Rasterelektronenmikroskopische Technik. Präparationsverfahren in Medizin und Biologie.
Stuttgart: Thieme 1978

SCHLOTE, W.:
Persönliche Mitteilung (1979)

SCHWARTZ, S.M., HAUDENSCHILD, C.C. and EDDY, E.M.: Endothelial regeneration. I. Quantitative analysis of initial stages of endothelial regeneration in rat aortic intima.
Lab Invest 38, 568-580 (1978)

SEIDENBERG, B., HURWITT, E.S. and CARTON, C.A.: The techniques of anastomosing small arteries.
Surg Gynecol Obstet 106, 743-746 (1958)

SERVANT, J.M., IKUTA, Y. and HARADA, Y.: A scanning electron microscope study of microvascular anastomoses.
Plast Reconstr Surg 57, 329-334 (1976)

SHOOP, R., BALCERZAK, S.P., LARRIMER, N.R. and LEE, R.E.: Surface morphologie of the early hemostatic reaction.
Am J Med Sci 260, 122-129 (1970)

SMITH, J.W.: Microsurgery: Review of the literature and discussion of microtechniques.
Plast Reconstr Surg 37, 227-245 (1966)

Herrn Prof. Dr. Dr. N. Schwenzer möchte ich für die Überlassung des Themas und Herrn Priv. Doz. Dr. Dr. D. Riediger für seine Unterstützung in Rat und Tat während der Durchführung dieser Arbeit herzlich danken.

An der Hals-Nasen-Ohrenklinik der Universität Tübingen danke ich Herrn Dr. W. Eitel und Herrn G. Balke für die Einführung in die Technik der Critical-Point-Trocknung.

Mein Dank gilt weiter Herrn Dr. C. Hemleben vom geologisch paläontologischen Institut Tübingen für die Ermöglichung der Arbeit am Rasterelektronenmikroskop und besonders seinem Mitarbeiter Herrn H. Hüttemann für seine freundliche Hilfe bei der Herstellung des rasterelektronenmikroskopischen Bildmaterials.

Weiter möchte ich Herrn Prof. W. Schlote vom pathologischen Institut, Tübingen, Abteilung für submikroskopische Pathologie und Neuropathologie, für seinen wertvollen Rat bei der Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Ergebnisse danken.

Frau C. Seyfang und Frau U. Meckes danke ich für die Hilfe bei der Tierpflege.

Lebenslauf

Am 25. August 1953 wurde ich als Sohn des Diplom-Ingenieurs Gerhard Haufler und seiner Frau Margot, geborene Heiland, in Stuttgart geboren.

Von 1960 bis 1964 besuchte ich die Grundschule und anschliessend das Wilhelms-Gymnasium in Stuttgart, an dem ich 1972 die Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1973 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, das ich am 12. Dezember 1978 mit dem Staatsexamen abschloß.

Am 22. Dezember 1978 wurde mir die Approbation als Zahnarzt erteilt.

Seit 1. April 1979 arbeite ich als wissenschaftlicher Angestellter an der Abteilung für Zahnerhaltung des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen.